

5.Гриб О.Г., Сапрыка А.В., Бородин Д.В., Жданов Р.В. Анализ качества электрической энергии в сетях общего пользования 0,4 кВ // Світлотехніка та електроенергетика. Вип.1 (9). – Харків: ХНАМГ, 2007. – С.53-60.

Получено 16.08.2007

УДК 621.313.33

Ю.А.ЯСИНСКИЙ, канд. техн. наук

Украинская инженерно-педагогическая академия, г.Харьков

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОБМОТКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рассматриваются основные особенности воздействия импульсных напряжений различной формы на межвитковую изоляцию обмоток высоковольтных трансформаторов и приведены результаты экспериментальных исследований. Обоснована схема соединения фаз обмотки при проведении профилактических испытаний ее изоляции.

Существующие установки для испытания межвитковой изоляции обмоток высоковольтных трансформаторов используют испытательное напряжение в форме апериодических импульсов [1-3, 5]. Существенным недостатком таких испытаний является неравномерное распределение импульсных напряжений вдоль обмотки при испытаниях целых фаз. При проведении профилактических испытаний изоляции обмоток трансформаторов городских трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ на ремонтных базах РЭС необходимо использовать испытательные установки, которые обеспечивают достаточно равномерное распределение испытательных напряжений вдоль обмотки трансформатора.

Целью работы является разработка испытательной схемы для проведения профилактических испытаний изоляции обмоток трансформаторов 6-10/0,4 кВ, обеспечивающая равномерное распределение импульсных испытательных напряжений вдоль их обмоток.

Особенностью профилактических испытаний изоляции повышенным напряжением в форме высокочастотных колебательных импульсов $U_{вч}$ является наличие электрических нагрузок одновременно на межвитковой и корпусной изоляции обмотки. Поэтому схема испытаний должна обеспечивать равномерное распределение межвитковых испытательных напряжений и потенциалов по всей длине обмотки, а также одновременную индикацию дефектов в витковой и корпусной изоляции. Равномерность распределения импульсных напряжений внутри обмотки зависит от начальных условий, определяющих их появление на одной, двух или трех одновременно фазах обмотки трансформатора [1-6]. Для подтверждения этого факта был проведен экспе-

римент, аналогичный эксперименту, изложенному в [7]. Суть его заключается в подаче импульсного напряжения от специального генератора импульсов, имитирующего импульсные перенапряжения, одновременно на одну, две или три фазы обмотки высоковольтного трансформатора типа ТМ-1000//10/0,4 кВ и измерении с помощью осциллографа СИ-65 межвитковых напряжений и потенциалов на секциях обмотки по отношению к корпусу трансформатора. Выполненные испытания приведены на схеме (рис.1).

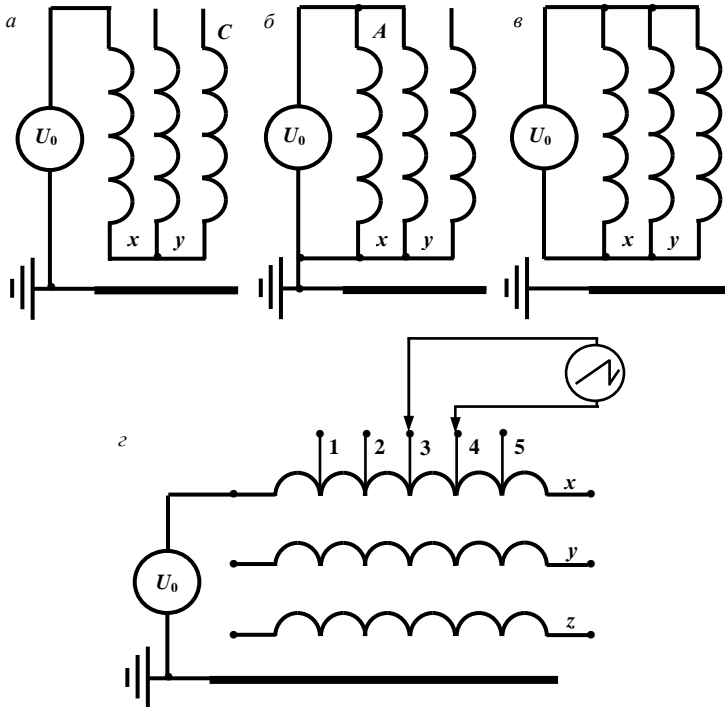


Рис. 1 – Схема осциллографирования импульсных напряжений в обмотке высоковольтного трансформатора:

a, б, в – схемы подачи импульсного напряжения U_0 соответственно; *з* – схема подключения электронного осциллографа к выводам фазы *Ax*.

Построенные по результатам эксперимента кривые распределения межвитковых напряжений и потенциалов вдоль обмотки высоковольтного трансформатора достаточно близки по характеру аналогичным кривым, полученным для высоковольтного электродвигателя автором

в [7].

Эти кривые подтверждают сделанные в [4-7] выводы о неравномерности электрической нагрузки изоляции обмотки в отдельных ее фазах, а также о том, что при подаче импульсного напряжения одновременно на входные зажимы трех фаз обмотки его распределение в обмотке будет наиболее равномерным. Это можно объяснить действием ближних и дальних электромагнитных связей между секциями разных фаз обмотки. На основании изложенного в данной статье предлагается и обосновывается схема соединения фаз обмотки, пригодная для проведения профилактических испытаний изоляции обмоток высоковольтных трансформаторов, подобная схеме на рис.1, в: (все три фазы обмотки соединены согласно и параллельно). В качестве источника испытательного высокочастотного напряжения $U_{вч}$ применяется импульсный аппарат ВЧФ-35 УЗПИ. Ниже приведен анализ предложенной схемы профилактических испытаний изоляции трансформатора.

Для исследования волновых процессов обмотку представляют схемой замещения в виде электрической цепи с сосредоточенными (рис.2, а) или распределенными (рис.2, б) параметрами [4, 7].

Распределение высокочастотного напряжения в обмотке можно проанализировать по схеме замещения с распределенными параметрами. Строгий математический анализ таких схем замещения очень сложный и требует проведения специальных исследований для учета зависимости величины распределенных параметров обмотки от частоты [4, 5]. Ниже предлагается метод приближенного анализа схемы замещения с распределенными параметрами, обладающий достаточной для практики профилактических испытаний точностью.

Распределенные параметры обмотки имеют следующее обозначение: C_p – емкость элемента обмотки на корпус; L_p – индуктивность элемента; C_{np} – продольная емкость элемента; r_p – сопротивление элемента, эквивалентное потерям в меди; R_p – сопротивление элемента, эквивалентное потерям в стали при высоких частотах.

Распределенные параметры обмотки можно достаточно точно определить по ее сосредоточенным параметрам C_c , L_c , r_c , R_c , обозначение которых аналогично соответствующим распределенным, используя несложные расчеты и экспериментальные данные. Для получения необходимых экспериментальных данных достаточно снять характеристики холостого хода $U_{xx} = f(t)$ и короткого замыкания $i_{кз} = f(t)$ обмотки. Методика такого эксперимента подробно изложена в [4] и поэтому здесь не рассматривается. Характеристики $U_{xx} = f(t)$ и $i_{кз} = f(t)$

обмотки показаны на рис.3.

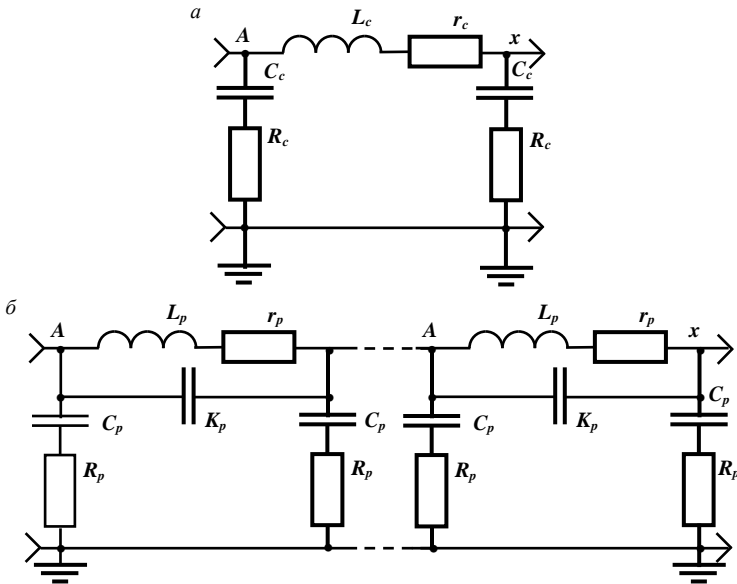


Рис.2 – Схема замещения обмотки высоковольтного трансформатора с сосредоточенными (а) и распределенными (б) параметрами для импульсного и высокочастотного режимов

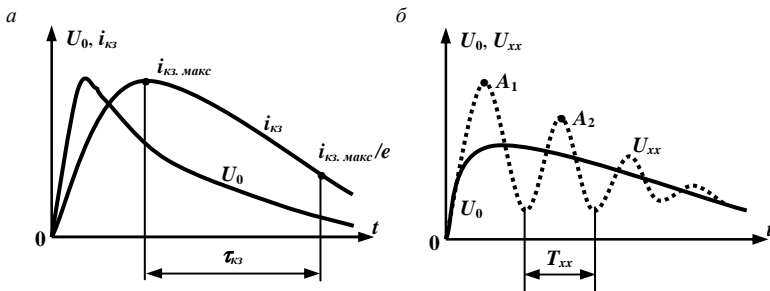


Рис. 3 – Режимы короткозамкнутого (а) и холостого хода (б) обмотки

Параметр L_c определяется по номинальным данным.

$$L_c = \frac{k_{cm}}{\omega_{вч}} \sqrt{\left(\frac{U_n}{I_n \sqrt{3}} \right)^2 - r_{обм}^2}, \quad (1)$$

где U_n – номинальное напряжение; I_n – номинальный ток; $r_{обм}$ – нормированное значение сопротивления обмотки постоянному току (определяется по расчетному формуляру); $k_{ст}$ – коэффициент, учитывающий процессы в стали; $\omega_{вч}$ – частота колебаний напряжения $U_{вч}$.

Рекомендуемое выражение (1) не требует определения и использования многих геометрических параметров обмотки. Сопротивления r_c и R_c определяются соответственно по характеристикам $U_{xx} = f(t)$ и $i_{кз} = f(t)$:

$$r_c = \frac{L_c}{\tau_{кз}} - (R_\Gamma - R_{ш}), \quad (2)$$

где $\tau_{кз}$ – постоянная времени в режиме короткого замыкания обмотки (определяется по характеристике $i_{кз} = f(t)$; R_Γ – разрядное сопротивление генератора импульсов U_0 ; $R_{ш}$ – сопротивление шунта при измерениях тока короткого замыкания.

Сопротивление R_c определяется по степени затухания напряжения U_{xx} на разомкнутом конце обмотки (рис.3, а):

$$R_c = \frac{2L_c \ln(A_1 / A_2)}{T_{xx}}, \quad (3)$$

где A_1, A_2 – амплитуды 1-го и 2-го колебаний напряжения U_{xx} ; T_{xx} – период колебаний напряжения U_{xx} .

Зная T_{xx} , можно определить параметр C_c :

$$C_c = \frac{T_{xx}^2}{4\pi^2 L_c}. \quad (4)$$

Параметры r_p, C_p, R_p можно определить по формулам, предложенным в [4-6]:

$$r_p = r_c / n; \quad C_p = C_c / n; \quad R_p = R_c \cdot n, \quad (5)$$

где n – число секций обмотки, учтенных в схеме замещения. Параметр C_{np} для секции можно определить по формуле (166) из [4].

С достаточной степенью точности параметр L_p можно определить из выражения [5]:

$$L_p = \frac{L_c}{mk_p + n}, \quad (6)$$

где m – удвоенное число электромагнитных связей в обмотке (подсчитывается по конкретной схеме обмотки); k_p – коэффициент связи между звеньями схемы замещения.

Коэффициент k_p равен [5, 6]:

$$k_p = (0,7 \dots 0,8) \cdot \gamma / \gamma_1 \quad (7)$$

где γ – число эффективных проводников в секции; γ_1 – число эффективных проводников в секции, связанных с другими звеньями.

Числовые значения γ и γ_1 определяются по конкретной схеме обмотки трансформатора.

Таким образом, предложена схема параллельного и согласного соединения трех фаз обмотки высоковольтного трансформатора для реализации в испытательной установке при проведении профилактических испытаний его изоляции. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, подтверждающие целесообразность применения при профилактических испытаниях изоляции обмоток высоковольтных трансформаторов схемы в виде параллельного и согласного соединения трех фаз обмотки.

1.Бажанов С.А. Профилактические испытания изоляции электрооборудования высокого напряжения. – М.: Энергия, 1987. – 288 с.

2.Блушинский А.Б. Прибор для испытания витковой изоляции электрических машин и аппаратов. – М.: Информэлектро, 1982. – 11 с.

3.Выбор аппаратуры для профилактических испытаний изоляции электрооборудования. ОРГРЭС. – М.: Энергия, 1982. – 247 с.

4.Глазков Ю.А., Горский А.Н. О схеме замещения обмотки электродвигателя в синусоидальном и импульсном режимах // Труды ЛИИЖТ. Вып.313. – Л., 1981. С.128-135.

5.Геллер Б., Веверка А. Волновые процессы в электрических машинах. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 485 с.

6.Кулаковский В.Б. Профилактические испытания и дефекты изоляции электрических машин. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Энергия, 1979. – 184 с.

7.Ясинский Ю.А. Повышение надежности высоковольтного электрооборудования. // Бумажная промышленность. – 1984. – №5. – С.28-29.

Получено 11.05.2007

УДК 621

В.С.СУЛИМА, канд. фіз.-матем. наук

Українська інженерно-педагогічна академія, м.Харків

МІСЦЕ І ЗНАЧЕННЯ ПИТАНЬ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Розглядаються актуальні проблеми ресурсо- й енергозбереження в економіці України, зокрема в житлово-комунальному господарстві, шляхи та засоби їх вирішення шляхом реалізації важливих державних програм.

Питання ресурсо- й енергозбереження для України дуже актуальні. У нас на одиницю ВВП споживається в три рази більше енергоресурсів, ніж у промислово розвинених країнах ЄС [1]. До того ж Украї-